

# LED-y Moduły LED LEDÓWKI

Odpowiedzi na najczęściej zadawane pytania

wydanie I, Maj 2011



Praca zbiorowa

**Polskiego Komitetu Oświetleniowego  
Związku Producentów Sprzętu Oświetleniowego „Pol-lighting”**

Autorzy:

---

mgr inż. Tadeusz Bełdowski  
dr inż. Dariusz Czyżewski  
dr hab. inż. Irena Fryc  
dr inż. Zbigniew Gabryjelski  
dr inż. Jan Grzonkowski  
mgr inż. Jerzy Jakubowski  
dr inż. Przemysław Markiewicz  
dr inż. Roman Sikora  
dr inż. Wiesława Pabjańczyk  
mgr inż. Bogdan Skorupka  
mgr inż. Bogdan Ślęk  
mgr inż. Jarosław Walczak  
dr inż. Andrzej Wiśniewski  
dr inż. Sławomir Zalewski

Recenzja:

---

prof. dr hab. Wojciech Żagan

Opracowanie na podstawie dostępnej literatury i wiedzy praktycznej autorów.

Wydanie I, Maj 2011

## SPIS TREŚCI :

	Wstęp.....	4
1.	Co to jest LED?.....	5
2.	Jak działa LED?.....	6
3.	Jakie są dostępne rodzaje LED barwnych?.....	8
4.	Jakie mogą być rodzaje sprzętu oświetleniowego wykorzystujące LED?.....	8
5.	Co to jest trwałość LED?.....	10
6.	W jaki sposób testuje się LED w celu wyznaczenia trwałości?.....	11
7.	Co wpływa na trwałość LED?.....	11
8.	Co może spowodować uszkodzenie LED?.....	12
9.	Jak wydajne są LED światła białego?.....	12
10.	Jaką diodę wybrać do wytworzenia światła białego?.....	13
11.	Jak LED światła białego oddają barwy i jak dobrać LED do określonej funkcji?.....	14
12.	Czy LED można ściemniać?.....	15
13.	Czy barwa światła ulega zmianie w trakcie eksploatacji?.....	15
14.	Jakie są kategorie LED ze względu na barwę światła i skuteczność świetlną?.....	16
15.	Co to jest bining i jak się nim posługiwać?.....	16
16.	Jakie są obszary zastosowania LED w oświetleniu?.....	17
17.	Jakie są korzyści i ograniczenia w stosowaniu LED? .....	18
18.	Kwestia rozsyłu. ....	19
19.	Czy LED mogą szkodzić na wzrok?.....	20
20.	W jaki sposób są zasilane LED?.....	21
21.	Wzajemne oddziaływanie diod LED i systemów zasilania elektroenergetycznego.....	22
22.	Normy dotyczące LED.....	24
23.	Jak powinna wyglądać specyfikacja modułu LED?.....	26
24.	Czy dostawca dysponuje danymi potwierdzającymi deklarowane wartości?.....	27
25.	Jak dobrać LED jako zamiennik tradycyjnego źródła światła?.....	27

## **Wstęp**

Technologia oświetlenia LED, ze względu na potencjał, jeśli chodzi o osiągnięte parametry techniczne, różnorodność zastosowań, możliwość tworzenia całkowicie nowych rozwiązań oświetleniowych zasługuje na miano przełomowej. Tak sformułowane perspektywy oświetlenia LED doprowadziły do ogromnych oczekiwań ze strony konsumentów i inwestorów, a także strategów gospodarczych, którzy słusznie widzą w tej technologii możliwość znacznego ograniczenia zużycia energii na cele oświetleniowe. Oświetlenie LED rozwija się w szybkim tempie, pomimo to, jest nadal na wczesnym etapie w porównaniu z innymi technologiami, np. bazującymi na świetłówkach, czy wysokoprężnych lampach wyładowczych, które były doskonalone przez dziesięciolecia. Od kilku lat uznani producenci oświetlenia z sukcesem wprowadzają na rynek produkty oświetleniowe LED. Dzięki doskonaleniu technologii i postępowi w rozwiązywaniu problemów technicznych oferują oni produkty o coraz to wyższych parametrach technicznych i szerszym zakresie stosowania. Równolegle na rynku rośnie liczba przereklamowanych produktów LED o niskiej jakości, które często nie odpowiadają podstawowym warunkom bezpieczeństwa. Brak niektórych przepisów prawnych, norm oraz nadzoru rynkowego w zakresie deklarowanych parametrów technicznych powoduje, że segment wyrobów niespełniających minimalnych kryteriów jakościowych niebezpiecznie rośnie. Grozi to zahamowaniem rozwoju technologii oświetlenia LED i utratą, związanych z nią, wielostronnych korzyści dla konsumenta, konkurencyjności gospodarki oraz środowiska naturalnego.

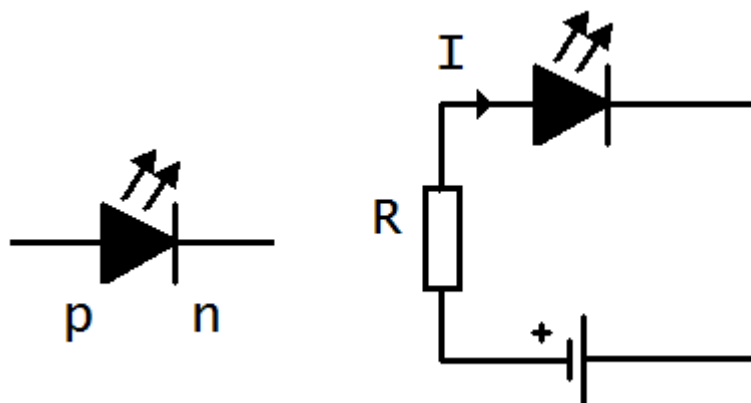
Niniejsza publikacja została opracowana przez zespół specjalistów Polskiego Komitetu Oświetleniowego oraz Związku Producentów Sprzętu Oświetleniowego „Pol-lighting” z zamiarem przybliżenia problematyki diod świecących tym wszystkim, którzy zawodowo zajmują się oświetleniem (projektanci, instalatorzy elektryczni..) lub podejmują decyzje związane z zakupem produktów oświetleniowych (zamówienia publiczne, inwestorzy budowlani..), czy prowadzą wyspecjalizowaną dystrybucję oświetlenia (sprzedawcy hurtowi i detaliczni).

Autorzy wyrażają nadzieję, że informacje zawarte w niniejszym opracowaniu będą pomocne w racjonalnym poruszaniu się w gąszczu różnorodnych ofert rynkowych w zakresie oświetlenia LED. Opracowanie odzwierciedla najistotniejsze zagadnienia związane z diodami świecącymi według aktualnego stanu wiedzy i praktyki. Szybki rozwój technologii LED i postęp w zakresie norm i metod badawczych będzie wymagał aktualizacji informacji zawartych w niniejszej publikacji.

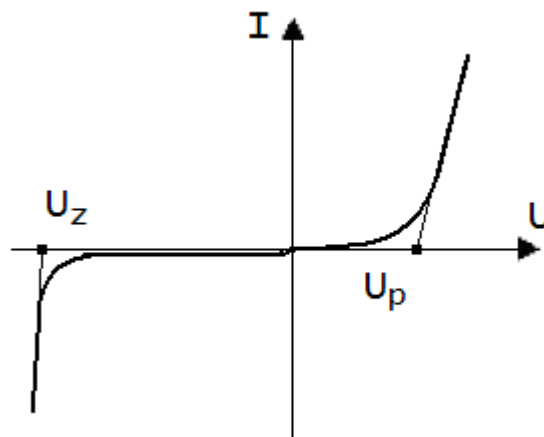
**Autorzy**

## Pytanie 1. Co to jest LED?

Nazwa LED jest skrótem od angielskiej nazwy diody elektroluminescencyjnej (*Light Emitting Diode*). Jest to półprzewodnikowe źródło promieniowania elektromagnetycznego widzialnego, podczerwonego lub ultrafioletowego. Dioda składa się ze złącza półprzewodnikowego powstałego z połączenia dwóch typów półprzewodnika (typu *n* i *p*). Emisja fotonów, czyli światła, zachodzi w trakcie przepływu prądu elektrycznego przez LED w kierunku przewodzenia (czyli od warstwy *p* do warstwy *n*). Na Rys.1.1 przedstawiony jest symbol LED oraz przykładowy obwód elektroniczny z jej wykorzystaniem. Obecność rezystora R tłumaczy wykres prądowo-napięciowy diody przedstawiony na Rys.1.2. Prąd *I* płynący przez diodę elektroluminescencyjną zaczyna gwałtownie rosnąć po przekroczeniu napięcia progowego  $U_p$ , dlatego wymagane jest właśnie zastosowanie szeregowo włączonego rezystora R, który ogranicza ten wzrost.

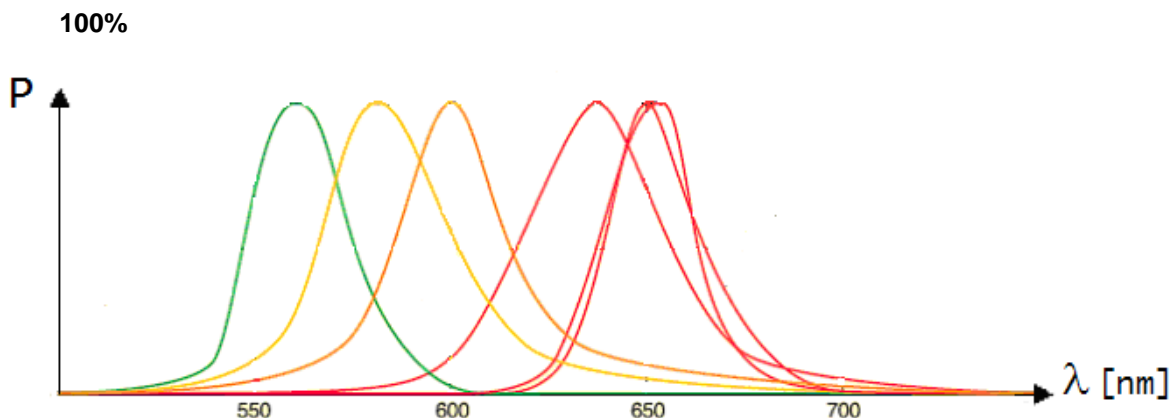


Rys. 1.1 Symbol diody elektroluminescencyjnej oraz przykładowy obwód elektroniczny z jej wykorzystaniem



Rys. 1.2 Charakterystyka *U-I* diody elektroluminescencyjnej –  $U_p$  – napięcie progowe,  $U_z$  – napięcie zaporowe, wynoszące odpowiednio od 2 do 3V i od 2 do 5V .

LED mogą emitować światło różnej długości fali (różnej barwy) w zależności od użytej domieszki do materiału podstawowego półprzewodnika. Jednakże zawsze jest to dość wąski podział widmowy, sprowadzające się raczej do jednej barwy. Na rysunku 1.3 przedstawione zostały charakterystyki widmowe przykładowych diod elektroluminescencyjnych. Jak widać uzyskanie bezpośrednio światła białego ze zwykłej LED jest niemożliwe.



**Rys. 1.3** Charakterystyki widmowe promieniowania przykładowych diod elektroluminescencyjnych

W przypadku LED światło białe można otrzymać trzema sposobami:

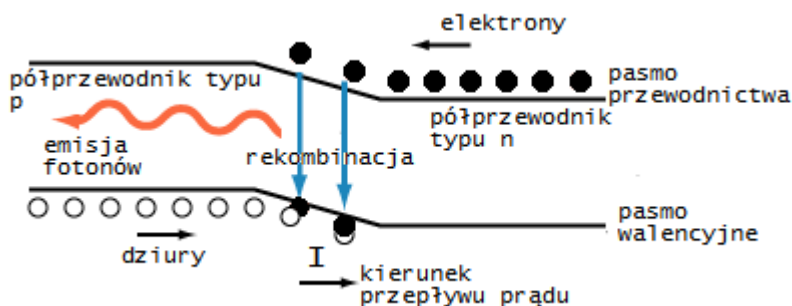
- Mieszając barwy trzech pojedynczych LED (czerwonej, zielonej i niebieskiej) –system RGB.
- Uzupełniając LED barwy niebieskiej luminoforem żółto/czerwonym – system barwy dopełniającej.
- Uzupełniając luminoforem LED z promieniowaniem UV – system konwersji UV.

## Pytanie 2. Jak działa LED?

Zjawisko promieniowania LED jest związane z mechanizmem rekombinacji promienistej w półprzewodniku. W trakcie przepływu prądu przez złącze *p-n* nośniki ładunku są do niego wstrzykiwane (dziury z obszaru *p*, a elektrony z obszaru *n*) i tam rekombinują promieniście (Rys.2.1). Proces elektroluminescencyjny w diodach może osiągać sprawności rzędu nawet 50%. W przypadku rekombinacji pasmo-pasmo energia promieniowania ma wartość szerokości przerwy zabronionej  $W_g$ . Długość emitowanej fali można więc wyznaczyć ze wzoru:

$$\lambda = \frac{c \cdot h}{W_g}$$

gdzie *c* oznacza prędkość światła i *h* stałą Planck'a.



**Rys. 2.1** Proces rekombinacji promienistej w diodzie elektroluminescencyjnej

Rozróżnia się dwa rodzaje półprzewodników:

**Półprzewodnik samoistny** - monokryształ pozbawiony domieszek, czyli obcych atomów w sieci krystalicznej. W półprzewodniku takim występuje tylko jedna możliwość transportu ładunku elektrycznego – elektronowi musi zostać dostarczona energia (np. przez podgrzanie), większa od energii przerwy zabronionej, by mógł znaleźć się w paśmie przewodnictwa. W miejscach opuszczonych przez elektrony, w paśmie walencyjnym, powstają tak zwane dziury, będące, najprościej tłumacząc, dodatnimi nośnikami ładunku (elektrony są oczywiście nośnikami ujemnymi).

**Półprzewodnik domieszkowany** - polegający na celowym wprowadzeniu w sieć krystaliczną innych atomów, modyfikując jego właściwości. . Rozróżniane są dwa rodzaje domieszek: akceptorowe i donorowe.

Domieszki akceptorowe posiadają trzy elektrony walencyjne, a więc o jeden mniej niż kryształ, w którym są stosowane. By wypełnić czwarte wiązanie elektron pobierany jest z sąsiedniego atomu, powodując powstanie dziury. Taki półprzewodnik nazywany jest akceptorowym (**typu p**).

Domieszki donorowe natomiast posiadają pięć elektronów walencyjnych, a więc o jeden więcej niż kryształ, w którym są stosowane. Cztery elektrony tworzą wiązanie z siecią krystaliczną, piąty natomiast staje się swobodnym nośnikiem. Taki półprzewodnik nazywany jest donorowym (**typu n**).

W wyniku domieszkowania do modelu pasmowego wprowadzone zostają nowe poziomy energetyczne, a tym samym i zróżnicowane barwy światła

Rekombinacja promienista może więc zachodzić na kilka sposobów:

- **rekombinacja pasmo-pasmo** - elektron z pasma przewodnictwa rekombinuje z dziurą z pasma walencyjnego - wytwarzany jest foton o energii przerwy energetycznej  $W_g$
- **rekombinacja przez płytkie poziomy akceptorowe** - elektron z pasma przewodnictwa rekombinuje z dziurą z poziomu akceptorowego – wytwarzany jest foton o energii mniejszej niż  $W_g$
- **rekombinacja przez płytkie poziomy donorowe** - elektron z poziomu donorowego rekombinuje z dziurą z pasma walencyjnego – wytwarzany jest foton
- **rekombinacja donor-akceptor** - elektron z poziomu donorowego rekombinuje z dziurą z poziomu akceptorowego
- **rekombinacja poprzez głębokie poziomy** - energia fotonu w tym przypadku jest znacznie mniejsza od wartości przerwy energetycznej

W Tabeli 2.2. przedstawione są wybrane materiały domieszek stosowane do produkcji LED: ich szerokości przerw zabronionych i wynikające z tego barwy emitowanego światła.

**Tab. 2.2 Zestawienie diod w zależności od zastosowanych domieszek.**

Materiał	$W_g$ [eV]	Domieszka	Zakres
GaP	2.26	N	Zielony
GaP	2.26	N,N	Żółty
GaP	2.26	Zn,O	Czerwony
GaAs	1.443	Si	IR
GaAs <sub>0.6</sub> P <sub>0.4</sub>	2.1	N	Czerwony
GaAs <sub>0.35</sub> P <sub>0.65</sub>	2.1	N	Pomarańczowy
GaAs <sub>0.15</sub> P <sub>0.85</sub>	2.1	N	Żółty
Ga <sub>0.6</sub> Al <sub>0.4</sub> As	2.1	Zn	Czerwony
Ga <sub>x</sub> Al <sub>1-x</sub> As (1 < x < 0.7)	2.1	Si	IR

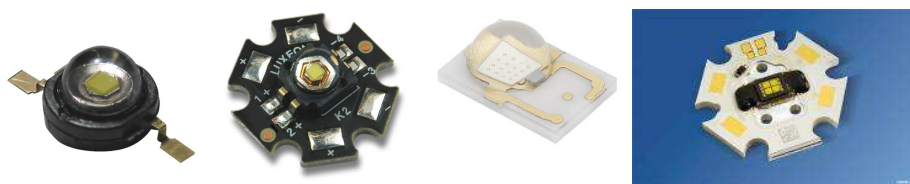
### Pytanie 3. Jakie są dostępne rodzaje LED barwnych?

Jedną z zalet LED stosowanych do innych celów niż oświetlenie jest możliwość bezpośredniego wytwarzania w złączu światła o wybranej barwie. Oznacza to brak konieczności wykorzystywania kolorowych filtrów, które w znaczący sposób wpływają na efektywność energetyczną takiego oświetlenia. Barwa wytwarzanego światła zależy od składu chemicznego (sposobu domieszkowania) materiału, z którego składa się półprzewodnik. Poniżej przedstawiono podstawowe typy materiałów stosowanych w LED oraz wytwarzane przez nie promieniowanie:

- arsenek glinowo-galowy (AlGaAs) – LED emituje światło barwy czerwonej i promieniowanie podczerwone
- fosforek glinowo-galowy (AlGaP) – LED emituje światło barwy zielonej
- glino-galo fosforek indu (AlGaInP) – LED emituje światło barwy pomarańczowo-czerwonej, pomarańczowej, żółtej i zielonej
- fosforo-arsenek galu (GaAsP) – LED emituje światło barwy czerwonej, pomarańczowo-czerwonej, pomarańczowej i żółtej
- fosforek galu (GaP) – LED emituje światło barwy czerwonej, żółtej i zielonej
- azotek galu (GaN) – LED emituje światło barwy zielonej, czysto zielonej (lub szmaragdowej) oraz niebieskiej
- azotek indowo-galowy (InGaN) – LED emituje promieniowanie w bliskim nadfiolecie, światło barwy niebiesko-zielonej i niebieskiej
- selenek cynku (ZnSe) – LED emituje światło barwy niebieskiej
- diament (C) – LED emituje promieniowanie nadfioletowe
- azotek glinu (AlN), azotek glinowo-galowy (AlGaN) – LED emituje promieniowanie w zakresie bliskiego nadfioletu

### Pytanie 4. Jakie mogą być rodzaje sprzętu oświetleniowego wykorzystujące LED?

- Pojedyncza dioda (LED) – przewidziana do zasilania głównie zasilaczem prądowym o stabilizowanej wartości prądu, zwykle o wartości 350 mA, 700 mA lub 1A. Diody LED o mocy od 1 W wzwyż zaliczane są do LED dużej mocy, co odpowiada w przybliżeniu prądowi 350 mA. Przykłady pojedynczych diod (LED) przedstawiono na rysunku 4.1.



Rys. 4.1. Przykłady pojedynczych LED

- Moduły LED składające się z kilku lub kilkunastu pojedynczych LED zamontowanych na wspólnym podłożu np. płytce drukowanej. Moduł LED często zawiera inne elementy np. optyczne ( np. soczewkę skupiającą światło), mechaniczne lub elektryczne i elektroniczne. Moduły LED zawierające odpowiedni układ stabilizujący punkt pracy LED mogą być zasilane zasilaczem napięciowym a nawet napięciem sieciowym. Głównie stosowane są moduły LED przewidziane do zasilania napięciem o wartości 10V i 24V. Przykłady modułów LED przedstawione są na rysunku 4.2.





**Rys. 4.2. Przykłady modułów LED**

- Moduły LED wyposażone w trzonki stosowane w tradycyjnych żarówkach lub świetłówkach kompaktowych, w dalszym tekście będą nazywane LEDÓWKAMI. Ledówki mogą być stosowane jako bezpośrednie zamienniki tradycyjnych żarówek lub żarówek halogenowych ( retrofit LED) Przykłady takich ledówek przedstawione są na rysunku 4.3.



**Rys. 4.3. Przykłady lamp LED, zamienników tradycyjnych żarówek i żarówek halogenowych**

- oprawy LED – oprawa oświetleniowa, w której źródłem światła jest LED lub moduł(y) LED. Przykłady opraw LED przedstawiono na rysunku 4.4.



**Rys. 4.4. Przykłady opraw LED**

## Pytanie 5. Co to jest trwałość LED?

Trwałość LED, tak jak i innych źródeł światła, jest to liczony w godzinach czas świecenia lampy (w określonych warunkach), w którym zachowuje ona odpowiednie właściwości użytkowe. W przypadku LED, podobnie jak dla świetlówek i innych lamp wyładowczych, które nie wygasają jak żarówki w sposób gwałtowny, podstawowym kryterium określenia trwałości jest czas w którym zachowana jest odpowiednia wartość strumienia świetlnego. „Odpowiednią wartość” określa się zwykle w % wartości początkowej. Dla świetlówek i innych lamp wyładowczych wartość strumienia świetlnego przyjmuje się na poziomie od 70% do 90%. Podobnie określana jest trwałość LED. Najczęściej, trwałość LED jest określana jako czas świecenia w okresie którego strumień świetlny nie spadnie poniżej 70 % wartości początkowej. Tak definiowaną trwałość oznacza się symbolem  $L_{70}$ . Można również spotkać się z symbolem  $L_{50}$  co należy odczytywać, jako trwałość określaną dla okresu w którym strumień świetlny nie spadnie poniżej 50 % wartości początkowej. Oczywiście bezwzględna wartość trwałości deklarowana w drugim przypadku będzie większa, co jednak nie oznacza, że dany wyrób jest lepszy bowiem przyjęto dla niego znacznie łagodniejsze kryteria oceny. Optymalnym rozwiązaniem dla użytkownika (projektanta) byłoby podawanie przez producenta wartości zachowania strumienia świetlnego w funkcji czasu świecenia.

Podane wyżej rozważania na temat trwałości definiowanej poprzez współczynnik zachowania strumienia świetlnego, to jednak tylko część właściwości źródeł światła, w tym LED, określających ich trwałość. Ta cecha odnosi się bowiem do poszczególnego wyrobu. Z punktu widzenia użytkownika istotna jest nie tylko deklarowana trwałość indywidualnego źródła światła lecz równie ważna jest informacja, jaki odsetek źródeł światła osiąga tak deklarowaną trwałość  $L$ , bądź jaki procent źródeł światła może ulec uszkodzeniu przed osiągnięciem czasu  $L$ . W tej ocenie lampy, których spadek strumienia świetlnego jest większy niż deklarowany należałoby zaliczyć do uszkodzonych. To inne spojrzenie na trwałość można określać albo poprzez tzw., współczynnik trwałości (stosowany głównie dla świetlówek i innych lamp wyładowczych), podający odsetek lamp, które po czasie  $L$  nadal zachowują właściwości użytkowe lub poprzez tzw. współczynnik uszkodzeń (stosowany częściej w przypadku LED) określający procent uszkodzonych LED w określonym czasie eksploatacji np. czasie deklarowanej trwałości  $L$ . Taki współczynnik uszkodzeń może być np. określany symbolem  $F_y$ , gdzie  $y$  może wynosić 10 lub 50, co należy czytać jako odpowiednio 10% lub 50 % możliwych uszkodzeń LED w czasie deklarowanej trwałości  $L_x$ .

Przy porównywaniu trwałości LED różnej konstrukcji lub różnych producentów, należy więc uwzględnić kryteria i warunki określone przez producentów. Trwałość może zmieniać się dla różnych rodzajów LED w różnym stopniu w zależności od warunków pracy (wilgotność, temperatura), wartości prądu.

Poniżej przedstawiono dane dotyczące trwałości  $L_{70}$ , w podziale na ich rodzaje, które spotyka się w literaturze i w ofertach producentów diod.

- LED wytwarzające światło barwy czerwonej – ok. 150 tys. godz.
- LED wytwarzające światło barwy żółtej – ok. 125 tys. godz.
- LED wytwarzające światło barwy pomarańczowej – ok. 250 tys. godz.
- LED wytwarzające światło barwy zielonej, niebieskiej i białej – ok. 30-70 tys. godz.

Trwałości te dotyczą optymalnych wartości pracy diody uzyskiwanych w warunkach laboratoryjnych, które różnią się od rzeczywistych spotykanych w sprzęcie oświetleniowym.

## Pytanie 6. W jaki sposób testuje się LED w celu wyznaczenia trwałości?

Trwałość LED praktycznie nie zależy od cyklu pracy i liczby włączeń. Przeprowadzenie pełnego badania trwałości LED sprawia kłopot ze względu na ich długi czas świecenia. Nawet przy pracy 24 godziny na dobę sprawdzenie LED przez 50 tys. godzin zajęłoby 5,7 lat, a wnioski uzyskane po jego ukończeniu sprawdzane byłyby mało przydatne z uwagi zmiany w konstrukcji LED, jakie zaszły by w tym czasie. Z powyższych względów obecnie badania trwałości LED lub modułów LED prowadzi się w dwóch etapach:

### Etap I

LED lub moduł LED jest poddawany testowi przy prądzie i/lub napięciu znamionowym przez 1000 godzin (okres wygrzewania i stabilizacji). Jest to konieczne, ponieważ dla większości LED strumień świetlny wzrasta w ciągu pierwszych 1000 godzin pracy.

### Etap II

LED włączona pracuje przez kolejne 5000 godzin. Wartość strumienia świetlnego zmierzonego po okresie wygrzewania (1000 godzin pracy) przyjmowana jest, jako wartość początkowa (odniesieniowa). Pomiar wykonany między 1000 a 6000 godzin pracy są porównywane z poziomem początkowym (dla 1000 godzin). Jeśli w ciągu tych 6000 godzin strumień nie spadnie poniżej wartości 70% początkowego strumienia świetlnego (dla zastosowań w oświetleniu ogólnym), dokonuje się ekstrapolacji na podstawie uzyskanych danych. Daleka ekstrapolacja może być przeprowadzona tylko dla czasu będącego ok. 6-krotnością czasu testowego, czyli 36000 godzin.

Dzięki tej metodzie możliwe jest weryfikowanie deklarowanych dłuższych czasów trwałości. Inna propozycja wyznaczania trwałości dyskutowana jest obecnie w ramach IEC<sup>1</sup> Wprowadza ona ocenę trwałości LED na podstawie pomiarów strumienia świetlnego w czasie pracy przy trzech temperaturach 55 °C, 85 °C oraz temperaturze określonej przez producenta. Temperatura mierzona jest w punkcie pomiarowym na module LED, który wskazany jest przez producenta. Pomiar strumienia świetlnego wykonuje się dla 20 sztuk LED, w czasie co najmniej 6000 godzin. Przewidywaną trwałość LED ekstrapoluje się na podstawie wykonanych pomiarów spadku strumienia świetlnego, pod warunkiem, że spadek strumienia świetlnego jest mniejszy niż 30% wartości początkowej. Podstawą dla tej metody jest ścisła zależność trwałości (spadku strumienia świetlnego) LED od temperatury występującej na złączu.

## Pytanie 7. Co wpływa na trwałość LED?

Główną przyczyną spadku strumienia świetlnego i skrócenia trwałości LED jest ciepło wytwarzane na złączu półprzewodników (złącze „p-n”). W celu zapewnienia odpowiednich warunków pracy LED, ciepło ze złącza „p-n” musi zostać odprowadzone na drodze przewodzenia lub konwekcji np. za pomocą elementów dobrze przewodzących ciepło i wentylatorów. Do odprowadzenia ciepła ze złącza stosuje się radiatory i wentylatory. Przy braku zastosowania odpowiednio zaprojektowanego radiatora lub wentylacji temperatura diody wzrasta, a ciągła praca w wysokiej temperaturze spowoduje trwałe obniżenie strumienia świetlnego (skuteczności świetlnej) i trwałości LED. Skrócenie trwałości LED może również nastąpić w wyniku nieodpowiedniego zasilania. Na przykład zasilanie LED wyższą wartością prądu zasilającego niż wartość znamionowa, prowadzi do podwyższenia temperatury złącza a tym samym do skrócenia trwałości. Stosowanie odpowiednio dopasowanych układów zasilających oraz radiatorów (zalecanych przez producentów LED) zapewnia uzyskanie znamionowej trwałości.

---

<sup>1</sup> Międzynarodowa Komisja Elektrotechniczna

## Pytanie 8. Co może spowodować uszkodzenie LED?

Podstawową i najczęstszą przyczyną uszkodzeń diod elektroluminescencyjnych jest przegrzewanie ich złącza. Źródłem zbyt wysokiej temperatury może być zasilanie zbyt dużym prądem, złe odprowadzanie ciepła do otoczenia, zbyt wysoka temperatura otoczenia lub kombinacja tych czynników. Niewielkie lub krótkotrwałe przegrzanie struktury powoduje częściowe uszkodzenie materiału i osłabienie świecenia. Kolejne cykle, w których dioda poddawana jest zbyt wysokiej temperaturze sumują się prowadząc do całkowitego zniszczenia kryształu. Dioda co prawda może być impulsowo zasilana prądem o wartości szczytowej wielokrotnie przekraczającej dopuszczalną wartość prądu stałego, jednak średnia wartość prądu musi się mieścić w dopuszczonych przez producenta granicach. Czynnikiem powodującym wzrost temperatury diody może być zbyt słabe oddawanie ciepła do radiatora wynikające z nieprawidłowego zamocowania diody, polegającego na niedokładnym przyleganiu styku cieplnego obudowy diody do podłoża lub podłoża do radiatora. Także radiator może nie wykazywać odpowiednio wysokiej skuteczności oddawania ciepła do otoczenia z powodu ograniczenia przepływu powietrza lub zbyt wysokiej temperatury powietrza w otoczeniu. Przegrzanie radiatora może być spowodowane jego zanieczyszczeniem, zamknięciem go w obudowie (oprawie). Zagrożeniem dla diod LED może być również niewłaściwe lutowanie ich wyprowadzeń.

Nieodwracalne uszkodzenie diody może być spowodowane przez przyłożenie w kierunku zaporowym napięcia o wartości większej od napięcia zaporowego. W diodach elektroluminescencyjnych napięcie to jest porównywalne z napięciem progowym dla kierunku przewodzenia. Dlatego dla LED bardzo niebezpieczne jest podłączenie go do zasilania w kierunku przeciwnym do właściwego. Niektóre egzemplarze diod są fabrycznie wyposażane w zabezpieczenia przed przeciążeniem i odwrotnym podłączeniem, jednak takie rozwiązanie nie należy do popularnych. Uszkodzenie LED może być również spowodowane występowaniem na nich przepięć.

Diody są elementami optoelektronicznymi, które można łatwo uszkodzić mechanicznie. Mimo, że są obiektami monolitycznymi i nie posiadają elementów ruchomych ani podlegających drganiom ich struktura jest wrażliwa na oddziaływanie dużych sił mechanicznych. Doprzewodniki prądu do kryształu wykonane są z drutu o przekroju rzędu dziesiątych części milimetra kwadratowego, który może być łatwo zerwany. Materiał soczewki przykrywającej diodę jest dobrany ze względu na wysoką sprawność wypromieniowania światła a nie pod kątem wytrzymałości przez co może zostać łatwo uszkodzony. Pod wpływem działającej siły kryształ świecący może oddzielić się od podłoża, utracić kontakt cieplny i ulec przegrzaniu.

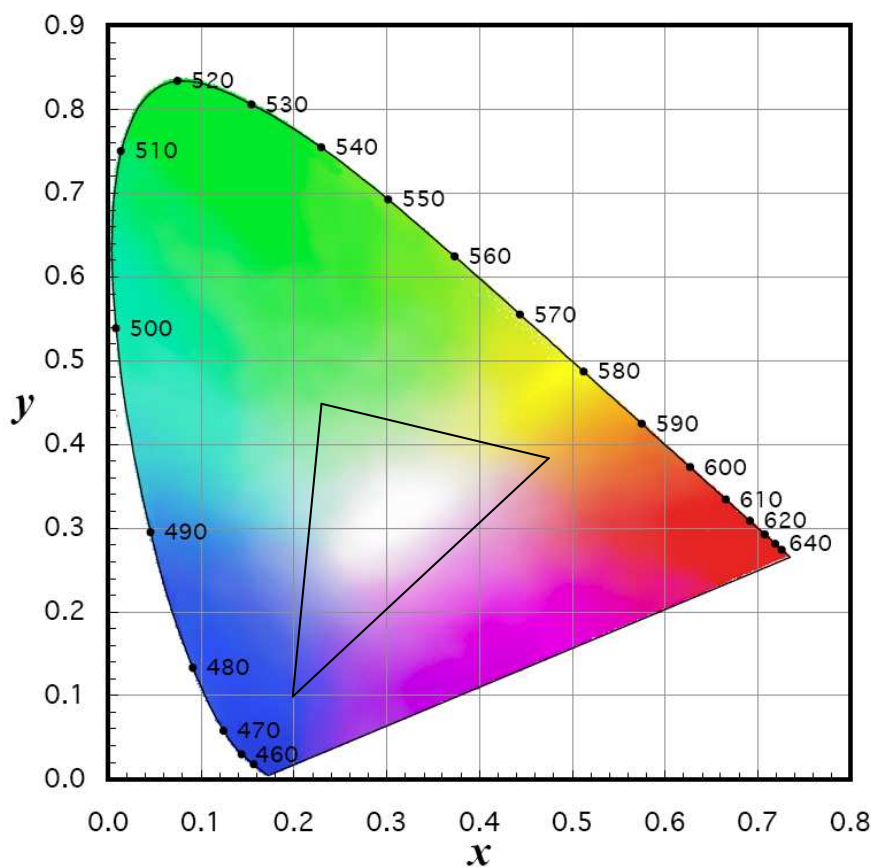
## Pytanie 9. Jak wydajne są LED światła białego?

Deklarowana skuteczność świetlna LED o świetle białym systematycznie rośnie z roku na rok. W warunkach laboratoryjnych największe wartości skuteczności świetlnej dla diod wytwarzających światło białe przekraczają obecnie 170 lm/W. Należy podkreślić, że dane laboratoryjne dla LED nie mają jednak żadnego odzwierciedlenia dla rzeczywistych warunków pracy, zatem nie można się nimi kierować. Na rynku dostępne są diody wytwarzające światło białe o skuteczności świetlnej wynoszącej 100 lm/W i większej (dane katalogowe dla LED podawane są dla temperatury złącza p-n 25°C). Skuteczność świetlna LED zależy od warunków pracy, szczególnie temperatury. Niektórzy producenci LED i modułów LED deklarują dane dla optymalnych warunków pracy, które trudno osiągnąć w praktycznych zastosowaniach, a tym samym podawane dane mogą być nierealistyczne. Na wynikową sprawność LED mają wpływ także inne czynniki, w tym sprawność układu zasilającego, sprawność układu optycznego, straty wynikające z istnienia dodatkowych elementów itd. Ponadto konwersja światła w luminoforze powoduje utratę energii (zjawisko znane jako przesunięcie Stokesa), kiedy luminofor dokonuje konwersji długości fali z krótszej na dłuższą, co obniża całkowitą sprawność LED.

## Pytanie 10. Jaką diodę wybrać do wytworzenia światła białego?

Diodę należy wybrać tak, aby temperatura barwowa  $T_b$  (ang. *Correlated Color Temperature - CCT*) emitowanego przez nią promieniowania mieściła się w polu tolerancji dla źródeł o temperaturze barwowej odpowiednio 2700 K, 3000 K, 3500 K lub 4000 K. Należy zwracać też uwagę, na jakość oddawania barw przez obiekty oświetlane tym białym promieniowaniem. Jeżeli do określania jakości oddawania barw używa się wskaźnika Ra to najlepiej by było aby wynosił on ponad 80. Temperatura barwowa emitowanego promieniowania świetlnego oraz jakość oddawania barw oświetlanym nim obiektów zależą od jakości i technologii, w której wytworzono LED. Dlatego poniżej podano podstawowe informacje na ten temat.

Światło białe jest mieszaniną promieniowań z zakresu od 380 nm do 780 nm. W celu liczbowego oraz graficznego zobrazowania zależności dotyczących mieszania promieniowań Międzynarodowa Komisja Oświetleniowa CIE w 1931 stworzyła trójkąt barw x,y przedstawiony na rysunku 11.1. W trójkącie tym każdej barwie przypisane są współrzędne x,y położenia jej punktu chromatyczności. Wybierając dwie barwy o różnych położeniach punktu chromatyczności i łącząc te punkty między sobą linią możemy wizualizować każdą z barw światła, która jest możliwa do uzyskania dzięki zmieszaniu w odpowiednich proporcjach tych 2 promieniowań jednobarwnych. Analogicznie można mieszać trzy barwy i wtedy barwa wynikowa mieszaniny leży w trójkącie. Umiejętnie dobrana, większa od trzech liczba mieszanych ze sobą promieniowań, umożliwi poprawę jakości otrzymywanego światła białego. W odróżnieniu od innych źródeł światła białego ledówki mogą mieć różne odcienie definiowane za pomocą temperatury barwowej (podobnie jak świetlówki kompaktowe). Dalego, chcąc uzyskać tę samą barwę należy zwrócić uwagę, aby wszystkie LED miały tę samą temperaturę barwową.



Rys. 10.1 Karta chromatyczności x,y. Ilustracja sumowania barw.

Z zasady działania LED wynika, że emituje on promieniowanie w wąskim przedziale długości fal, czyli w zakresie widzialnym i jest ono przez ludzkie oko odbierane jako jednobarwne.

Wykorzystując zasady obowiązujące przy mieszaniu barw do wytwarzania światła białego w LED zostały opracowane dwie grupy metod.

Pierwsza grupa metod umożliwia otrzymywanie światła białego poprzez zmieszanie się odpowiednich proporcjach promieniowania jednobarwnych LED. Najczęściej w jednej obudowie umieszcza się kilka chipów LED wytwarzających światło o różnej barwie. Zazwyczaj obudowa LED zawiera co najmniej dwa chipy LED ( wytwarzające światło niebieskie i żółte), niekiedy trzy (wytwarzające światło czerwone, niebieskie i zielone) lub cztery (wytwarzające światło czerwone, niebieskie, zielone i żółte). LED wytwarzające białe światło na zasadzie mieszania barw mają potencjalnie najwyższą skuteczność świetlną, ale jakość uzyskanego światła (wartość ogólnego wskaźnika oddawania barw  $R_a$ ) jest niska.

Druga grupa metod wykorzystuje zjawisko luminescencji zachodzące w luminoforze tj. konwersję długości fali (padające na luminofor promieniowanie o pewnej długości fali jest przez niego konwertowane na promieniowanie o dłuższej fali w stosunku do tej która padała na luminofor). Istnieje kilka rozwiązań technologicznych:

- Chip LED emituje światło barwy niebieskiej. Część tego promieniowania pada na luminofor, który konwertuje go do barwy żółtej. To żółte światło miesza się z pozostałą częścią światła niebieskiego i w rezultacie otrzymujemy wrażenie światła białego.
- Chip LED emituje światło barwy niebieskiej, które pada na kilka luminoforów, z których każdy konwertuje je na światło o innej barwie. Te różne barwy mieszają się ze pozostałym bezpośrednio pochodzącym z chipa światłem niebieskim. W efekcie otrzymuje się światło białe o wyższym ogólnym wskaźniku oddawania barw  $R_a$  w porównaniu z metodą jednego luminoforu.
- Chip LED wytwarza promieniowanie nadfioletowe (UV) padające na luminofor trójpasemowy (wytwarzającego światło w zakresie trzech barw tj. czerwonej, zielonej oraz niebieskiej). Różne barwy światła mieszają się ze sobą, dając światło białe o najwyższej jakości (najwyższym ogólnym wskaźniku oddawania barw  $R_a$ ).

## **Pytanie 11. Jak LED-y światła białego oddają barwy i jak dobrać LED do określonej funkcji?**

Ogólny wskaźnik oddawania barw  $R_a$  (ang. *Color Rendering Index - CRI*), jako miara jakości światła białego, z punktu widzenia wierności odtworzenia barw przedmiotów znajdujących się w jego nowym otoczeniu zaczął być stosowany znacznie wcześniej zanim powstały LED do celów oświetleniowych. Ogólny wskaźnik oddawania barw ( $R_a$ ) jest niedoskonałą, lecz szeroko stosowaną miarą opisywania jakości światła białego. Ogólny wskaźnik oddawania barw  $R_a$  dla światła słonecznego oraz żarówek wynosi 100, natomiast dla światła wytwarzanego przez świetlówki wynosi od 50 do 99, Za źródło światła dobrze oddające barwy należy znać źródło o  $R_a$  zbliżonym do wartości 100. Obecnie LED wytwarzają światło białe o ogólnym wskaźniku oddawania barw w zakresie od 70 do 90. Jednak wskaźnik ten nie charakteryzuje w pełni parametrów oddawania barw oświetlenia LED, ponieważ w przypadku niektórych LED mających ogólny wskaźnik  $R_a$  równy np. 80 szczegółowy wskaźnik  $R_9$  (oddawanie barwy czerwonej) dla tej diody przyjmuje wartości ujemne. Dlatego też ważne jest aby światło emitowane przez białego LED było takie, dla którego wskaźnik  $R_9$  jest większy od 0. W danych technicznych zawartych w informacjach producenta powinny zostać zawarte dane dotyczące wartości  $R_a$  i wskaźnika szczególnego  $R_i=9$ . Chcąc poprawić mankament określania dla LED oprócz  $R_a$  także  $R_9$  w NIST (USA) opracowano nową skalę oddawania barw CQS (ang. *Color Quality Scale*), która w lepszym stopniu niż  $R_a$  odzwierciedla parametry oddawania barw każdego rodzaju oświetlenia.

## Pytanie 12. Czy LED można ściemniać?

Tak, i to stosunkowo łatwo. Regulatory (sterowniki) LED zwykle wykorzystują jedną z dwóch metod regulacji strumienia świetlnego (ściemniania): zmniejszenie wartości czynnej prądu lub napięcia (regulacja fazowa), bądź modulację szerokości impulsu (PWM). Metoda PWM jest bardziej powszechna w przypadku regulacji strumienia świetlnego LED, ze względu na szeroki zakres regulacji (ściemniania) i liniową zależność między poziomemysterowania a wartością strumienia świetlnego. Strumień świetlny LED można regulować (ściemniać) stosując liczne urządzenia regulujące sterowane zarówno sygnałem analogowym 1-10V lub cyfrowym typu DMX i DALI.

## Pytanie 13. Czy barwa światła ulega zmianie w trakcie eksploatacji?

Barwa światła LED ulega zmianie w trakcie eksploatacji, ponieważ zależy ona od takich czynników jak:

- temperatura pracy diody,
- sposób zasilania - zasilanie prądem stałym czy też zasilanie impulsowe,
- degradacja luminoforu – w przypadku LED światła białego z luminoforem barwa zależy od właściwości luminoforu

Tempo starzenia się zależy od jakości modułu LED i poprawności jego aplikacji w konkretnym rozwiązaniu (poprawność zasilania, poprawność chłodzenia).

## Pytanie 14. Jakie są kategorie LED ze względu na barwę światła i skuteczność świetlną?

LED mogą wytwarzać światło o różnej temperaturze barwowej. Uzależnione to jest od wielu czynników, głównie od sposobu domieszkowania półprzewodnika. Typowe temperatury barwowe światła białego wytwarzanego przez LED są następujące: 2700K, 3000K, 3300K, 4000K, 5400K, 6500K. Nie jest wykluczone, że niektórzy producenci oferują LED wytwarzające światło o innych temperaturach barwowych.

LED różnią się również pod względem wartości skuteczności świetlnej. Obecnie dostępne są LED o skuteczności świetlnej od 30 lm/W do 150 lm/W. Niższe wartości skuteczności świetlnej mają diody świecące niższej mocy. W warunkach laboratoryjnych uzyskiwane są jeszcze wyższe skuteczności świetlne.

Skuteczność systemu oświetleniowego LED jest mniejsza, ponieważ oblicza się ją uwzględniając „traconą” moc układu zasilającego. Obecnie oferowane ledówki jako bezpośrednie zamienniki tradycyjnych żarówek mają skuteczności świetlne średnio od 50 lm/W do 70 lm/W. Tak wysokie skuteczności świetlne pozwalają uzyskać ok. 80% oszczędności energii elektrycznej w porównaniu do tradycyjnych żarówek oraz ok. 30% w stosunku do świetlówek kompaktowych.

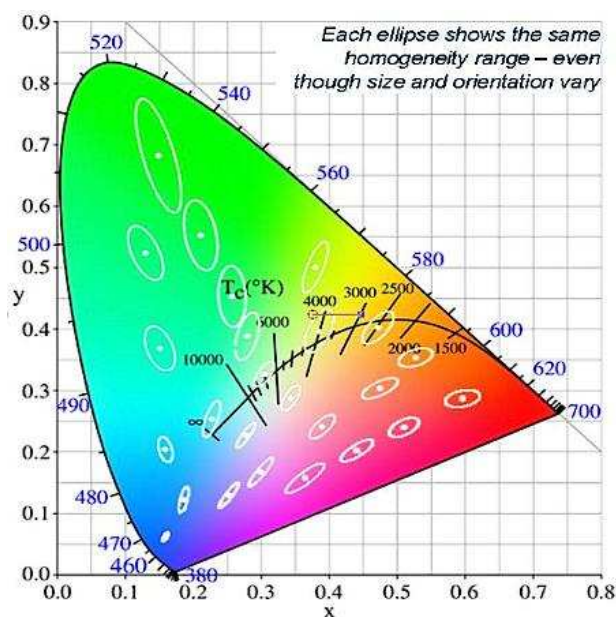
Dotyczy to tylko tych ledówek, które mają klasę efektywności energetycznej A. Klasa efektywności energetycznej podawana jest na produktach lub ich opakowaniach. Klasy efektywności energetycznej nie podaje się dla reflektorowych źródeł światła. Należy zwracać uwagę na to, że diody wytwarzające światło o wyższej temperaturze barwowej mają zwykle wyższą skuteczność świetlną i dają światło białe, aż do odcienia niebieskawego. Ledówki o niższej temperaturze barwowej mają niższą skuteczność, ale emitują światło o cieplej barwie.

## Pytanie15. Co to jest binning i jak się nim posługiwać?

Barwa światła białego może być bardzo zróżnicowana, od ciepłobiałej (np. temperatura barwy  $T_c = 2700\text{K}$  lub  $T_c = 3000\text{K}$ ) do chłodnej (np.  $T_c = 6500\text{K}$ ).



Podczas produkcji LED występuje rozrzut produkcyjny ich parametrów użytkowych. Jednym z istotnych jest rozrzut barwy światła. Ze względu na obecną technologię produkcji LED nie jest możliwe wykonania diod wytwarzających idealnie tę samą barwę światła. W przypadku stosowania wielu LED jednocześnie, na przykład przy modułach LED lub oprawach LED typu „wall washer” lub matrycy LED różnica barw światła może być widoczna. Z tego powodu producenci konfekcjonują LED pod względem rozrzutu współrzędnych trójchromatycznych w ramach tej samej nominalnej barwy światła, tworząc tak zwane biny. Wykorzystuje się przy tym prawo opracowane między innymi przez Mac Adama w 1937 roku. Mac Adam określił pola na wykresie chromatyczności (trójkąt barw) zwane elipsami Mac Adama (Rys.15.1). Barwy światła, które znajdują się w danym polu elipsy, w zależności od jego wymiarów, są mniej lub bardziej rozróżniane przez oko ludzkie. Producenci wykorzystują to konfekcjonując diody świecące tak, aby barwy światła znajdowały się w określonych polach (elipsach) na wykresie chromatyczności. Diody konfekcjonowane są w tak zwane biny.

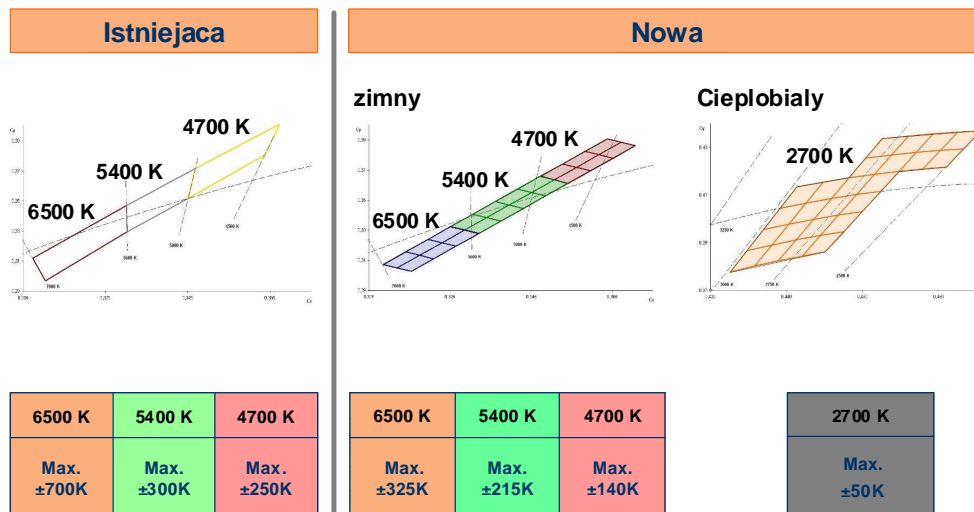


**Rys.15.1 Elipsy Mac Adama na wykresie chromatyczności**

Bin to określenie odnoszące się do podziału LED ze względu na barwę wytwarzanego światła. Zależnie od procesu selekcji oraz zakresów tolerancji przyjętych przez producenta, diody umieszczone są w osobnych kategoriach (binach).

Każdy bin zawiera diody wytwarzające światło o tej samej barwie i jest znakowany specjalnym kodem. LED wytwarzające białe światło są sortowane na podstawie temperatury barwowej światła (Rys. 15.2). LED wytwarzające kolorowe światło są sortowane na podstawie wartości długości fali dominującej.





**Rys. 15.2 Tolerancje dla światła białego**

Najwięksi producenci podnoszą ostatnio swoje kryteria podziału na biny, szczególnie w przypadku LED wytwarzających białe światło. Zaostrzenie polega na zmniejszeniu zakresu tolerancji temperatury barwowej lub długości fali dominującej znacznie poniżej zakresów wynikających z prawa Mac Adama. Zaostrzone kryteria sortowania i zakresy tolerancji pozwolą na podniesienie jakości LED.

### Pytanie 16. Jakie są obszary zastosowania LED w oświetleniu ?

Dzięki coraz lepszym parametrom diod LED, a w szczególności coraz większej skuteczności świetlnej białych diod, znajdują one obecnie zastosowanie we wszystkich obszarach stosowania światła do celów oświetleniowych. Również bogactwo form ich obudowy (pojedyncze diody, moduły wieloźródłowe, panele LED, ledówki, oprawy LED) zwiększa zakres możliwości aplikacyjnych. Mogą być wykorzystywane do statycznych instalacji oświetleniowych (np. oświetlenie funkcjonalne wewnątrz ze stanowiskami pracy), do instalacji dynamicznych (np. oświetlenie dekoracyjne, reklamowe) ze zmianą natężenia i barwy, do stosowania w meblach, gablotach, itp. Ze względu na długą trwałość, diody LED nadają się szczególnie do oświetlenia awaryjnego i bezpieczeństwa.

Ogólnie diody LED znajdują zastosowanie w następujących obszarach:

- w oświetleniu dekoracyjnym
- w oświetleniu architektonicznym ( iluminacja obiektów)
- w oświetleniu ogólnym
- w oświetleniu akcentującym
- w oświetleniu reklamowym
- w oświetleniu sygnalizacyjnym
- w oświetleniu zewnętrznym
- w oświetleniu drogowym
- w oświetleniu pojazdów

## Pytanie 17. Jakie są korzyści i ograniczenia w stosowaniu LED?

### Korzyści

LED wykazują szereg istotnych, ogólnych, zalet w porównaniu z innymi źródłami światła. Do nich można zaliczyć:

- wysoką skuteczność świetlną, pozwalającą zaliczyć je energooszczędnych źródeł światła
- wysoką trwałość, niezależną praktycznie od częstości załączania i wyłączenia LED;
- natychmiastowe zaświecanie przy osiągnięciu pełnego strumienia świetlnego
- wysoką odporność na wstrząsy;

Powyższe zalety LED mogą przynieść wymierne korzyści z ich stosowania praktycznie we wszystkich obszarach zastosowań oświetlenia, a w szczególności w oświetleniu i sygnalizacji w miejscach trudno dostępnych, w miejscach narażonych na wstrząsy i wibracje (np. mosty, pojazdy drogowe), sygnalizacja świetlna itp.

Należy również wymienić korzyści wynikające z wykorzystania szczególnych właściwości LED, do których zalicza można:

- możliwość bezpośredniego uzyskania światła o różnej barwie oraz płynnej jej zmiany, bez stosowania dodatkowych filtrów co może być wykorzystywane w systemach sygnalizacji oraz oświetleniu dekoracyjnym;
- brak promieniowania podczerwonego i znikomy udział promieniowania UV, istotny w oświetleniu dzieł sztuki i innych obiektów wrażliwych na takie promieniowanie;
- możliwość formowania zróżnicowanego rozsyłu światła poszczególnych LED, w konsekwencji
- uzyskiwanie dowolnych rozsyłów w oprawach oświetleniowych bez konieczności stosowania
- dodatkowych odbłyśników.

### Ograniczenia

LED przy swoich bezspornych zaletach wykazują jednak również pewne niedoskonałości, które ograniczają ich stosowanie lub wymagają podejmowania określonych działań w celu redukcji ujemnych skutków ich działalności. Do nich zalicza się:

- silną zależność parametrów LED (skuteczności świetlnej i trwałości) od temperatury powierzchni złącza, a więc pośrednio od temperatury otoczenia. Wymusza to konieczność stosowania ciężkich radiatorów oraz unikania stosowania LED w miejscach o podwyższonej temperaturze, np. silnie nasłonecznionych.
- wynikową wydajność oprawy LED zależną od jakości aplikacji modułu LED (zasilacze, optyka chłodzenie itp.)
- oddziaływanie obwodów LED na parametry sieci zasilającej z uwagi na generowanie do niej zaburzeń (wyższych harmonicznych). Dla ograniczenia tego niekorzystnego zjawiska istnieje konieczność stosowania odpowiednich zasilaczy.
- małe wymiary ciała świecącego, przy stosunkowo wąskim kącie wypromieniowania mogą wywoływać wysokie luminancje powodujące oślnienie. Niektóre z LED mogą emitować zbyt silne promieniowanie w paśmie niebieskim (LED o świetle „zimnym”), wyjątkowo szkodliwe dla oka. Te ujemne cechy LED wymuszają przekazywanie przez producentów LED odpowiednich, rzetelnych, informacji i wskazówek użytkownikom ich wyrobów.

## Pytanie 18. Kwestia rozsyłu.

Diody są produkowane w wielu różnych obudowach z różnymi pierwotnymi układami optycznymi. Każdy z nich inaczej kształtuje rozsył strumienia. Generalnie typowe rozsyły można podzielić na 4 podstawowe grupy:

- rozsył wąski
- rozsył lambertowski
- rozsył szerokokątny lub skrzydełkowy (batwing)
- rozsył boczny (side emitting).

Podstawą doboru diody do konkretnego zastosowania powinny być dane fotometryczne zawarte w karcie katalogowej, jednak co celów szybkiej klasyfikacji handlowej został wprowadzony uproszczony podział diod ze względu na charakter rozsyłu strumienia świetlnego.

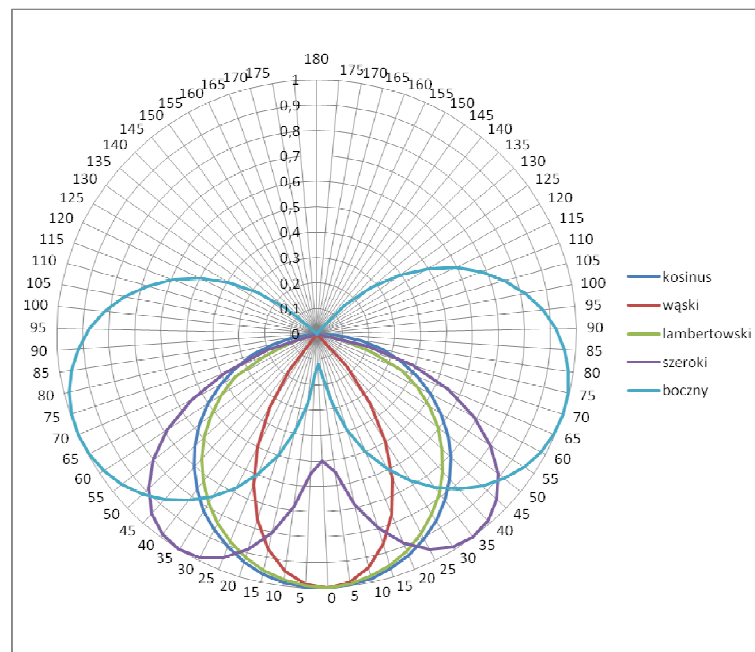
Diody posiadają bryły fotometryczne o symetrii obrotowej reprezentowane przez uśrednione krzywe światłości. Parametrem opisującym charakter rozsyłu najczęściej podawanym przez producentów jest kąt rozsyłu (rozbieżność użyteczna  $V_{1/2}$ ).

Diody o rozsyłach wąskim charakteryzują się kątem rozsyłu nie większym niż  $90^\circ$ . Najczęściej spotykane są diody o rozsyłach w kącie od  $15^\circ$  do  $30^\circ$ .

Idealny rozsył lambertowski z definicji charakteryzuje się kątem równym  $120^\circ$ . Diody zaliczane do grupy diod lambertowskich mają rozsyły jedynie zbliżone do idealnego. Największe różnice pojawiają się dla dużych kątów świecenia. Diody z tej grupy będą opisywane rozsyłami o kątach od  $110^\circ$  do  $130^\circ$ . Jest to najczęściej spotykany rozsył wśród diod do montażu powierzchniowego (SMD) i diod dużej mocy.

Rozsył szerokokątny zwany także skrzydełkowym charakteryzuje się kątem większym od  $120^\circ$  oraz tym, że światłość maksymalna jest w kierunku innym niż oś optyczna diody, odchyloną od niej o  $30^\circ$  do  $60^\circ$ . Najczęściej jest spotykany wśród diod dużej mocy.

Rozsył boczny charakteryzuje się kątem powyżej  $180^\circ$  oraz odchyleniem kierunku światłości maksymalnej o więcej niż  $60^\circ$  od osi optycznej diody. Ze względu na skomplikowaną strukturę pierwotnego układu optycznego realizującego taki rozsył nie jest on zbyt często spotykany i występuje wyłącznie wśród diod dużej mocy.



Rys. 18.1. Uśrednione typowe krzywe światłości różnych grup LED

W praktycznych zastosowaniach LED w sprzęcie oświetleniowym stosuje się nie pojedyncze diody a gotowe moduły LED. W tych przypadkach producent sprzętu finalnego określa wynikowy rozsył światłości, podobnie jak w tradycyjnych oprawach oświetleniowych.

Mówiąc o sposobach świecenia LED nie wolno zapominać o problemie luminancji. Cały strumień świetlny diody emitowany jest z powierzchni kilku milimetrów kwadratowych. Luminancja tej powierzchni wynosi w zależności od konstrukcji diody i mocy z jaką pracuje od kilku do ponad 50 milionów cd/m<sup>2</sup>. Należy więc bardzo uważnie przeprowadzać analizę możliwych olśnień dla źródeł i instalacji LED montowanych w miejscach pracy.

## Pytanie 19 Czy LED mogą szkodzić na wzrok ?

Rozważając potencjalne źródła zagrożeń fotobiologicznych pochodzących od LED należy rozgraniczać LED światła białego, przewidziane do ogólnych celów oświetleniowych, od LED o wyraźnie określonej barwie światła lub ściśle rozkładzie widmowym promieniowania optycznego. W tym ostatnim przypadku mogą występować LED emitujące w sposób celowy promieniowanie w zakresie UV (nadfioletowe), IR (podczerwone) lub też niebieskie, które przy nieumiejętnym ich użytkowaniu mogą stanowić istotne zagrożenia dla oka czy skóry. Jest to problem analogiczny do stosowania innych rodzajów promienników na bazie lamp wyładowczych czy lamp żarowych, gdzie należy ściśle przestrzegać instrukcji producenta.

W ocenie potencjalnych zagrożeń pochodzących od LED światła białego, do ogólnych celów oświetleniowych, należy podchodzić tak samo jak w stosunku do pozostałych źródeł światła, zarówno żarowych jak i wyładowczych. Kryteria oceny bezpieczeństwa fotobiologicznego wszystkich rodzajów źródła światła zostały określone w Normie Europejskiej EN 62471, bazującej na normie IEC o tym samym numerze i Publikacji S009 CIE (Międzynarodowa Komisja Oświetleniowa).

Podstawowe rodzaje zagrożeń fotobiologicznych pochodzących od promieniowania źródeł światła można pogrupować następująco:

**Zagrożenia promieniowaniem UV** (aktywnym i bliskim) szkodliwym dla rogówki i soczewki oka;

**Zagrożenia światłem niebieskim** prowadzącym do fotochemicznego uszkodzenia siatkówki oka;

**Zagrożenia promieniowaniem termicznym** prowadzącym do termicznego uszkodzenia siatkówki;

**Zagrożenia promieniowaniem IR** (bliska podczerwień) szkodliwym dla rogówki i soczewki oka.

Praktycznie, poziom zagrożenia dla każdej z grup zależy od mocy promieniowania w określonym zakresie widma i czasu jego oddziaływania na oko. Dodatkowo, w przypadku zagrożeń dla siatkówki istotna jest nie tylko moc promieniowania lecz również kąt w jakim to promieniowanie jest wysyłane. Im kąt bryłowy jest mniejszy tym stopień zagrożenia się zwiększa. W cytowanej wyżej normie określono dopuszczalne maksymalne wartości, odpowiednio natężenia napromienienia lub luminacji energetycznej, stanowiące podstawę do klasyfikacji źródeł dla danego zagrożenia do trzech podstawowych grup: bez zagrożeń, z niskim poziomem lub średnim poziomem. Należy zwrócić uwagę, że ustalone wymagania bazują na założeniu rozsądnego użytkownika źródeł światła tzn. unikania przez użytkownika długotrwałego kontaktu ze źródłem światła w warunkach stanowiących wyraźne zagrożenie dla oka np. patrzenie w żarnik lub inny element świecący lub nadmierne zbliżanie źródła do oka.

Oceniając LED światła białego według powyższych kryteriów należy stwierdzić, że większość danych literaturowych kwalifikuje je, podobnie jak inne źródła światła do ogólnych celów oświetleniowych, do grupy nie stwarzającej zagrożeń dla oka. Wyjątkiem mogą być niektóre LED, szczególnie barwy chłodno-białej, w których zagrożenie światłem niebieskim może być zaliczane do grupy drugiej tzn. o umiarkowanym ryzyku. Porównując parametry LED z innymi źródłami światła np. żarówkami halogenowymi czy lampami metalohalogenowymi można twierdzić, że te ostatnie grupy znacznie częściej przekraczają poziomy zagrożenia uznanych za bezpieczne.

Należy nadmienić, że promieniowanie, w tym pochodzące od źródeł światła, zalicza się zagrożeń ujętych w zasadniczych wymaganiach bezpieczeństwa określonych w dyrektywie Niskiego Napięcia, zgodność z którą jest warunkiem legalnego wprowadzania wyrobu do obrotu. Oznacza to, że producenci sprzętu oświetleniowego na bazie LED znakując swoje wyroby znakiem CE, potwierdzającym spełnienie zasadniczych wymagań bezpieczeństwa, powinni również uwzględniać zagrożenia związane z promieniowaniem optycznym LED. W swojej ocenie powinni bazować na informacji pochodzącej od producenta LED. Z tych względów producenci LED powinni oceniać i klasyfikować swoje produkty do określonych grup zagrożenia fotobiologicznego, a stosowna informacja powinna być zamieszczona w etykiecie skojarzonej z produktem. W przypadku występowania zagrożenia powinno się również określić zalecanie środki ostrożności lub wymagane działania w celu wyeliminowania lub ograniczenia zagrożeń. Wskazówki dla producentów w tym zakresie podano w Raporcie Technicznym IEC/TR 62471-2.

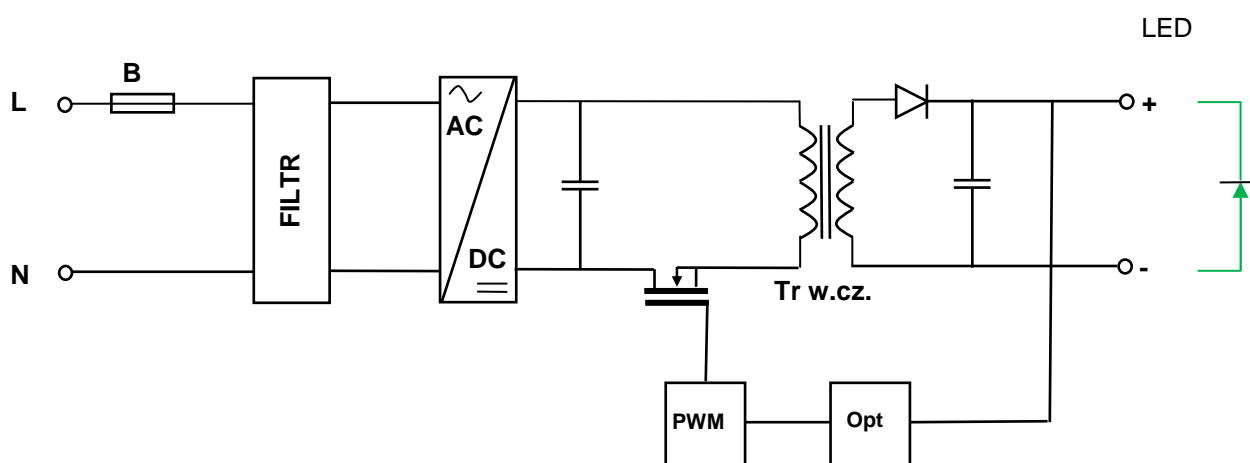
Kończąc rozważania należy zaznaczyć, że sposób wytwarzania światła przy wykorzystaniu LED jest odmienny od innych, dobrze rozpoznanych, technologii, uznanych za tradycyjne. Konieczne są dalsze prace mające na celu dokładne zbadanie kwestii zagrożenia fotobiologicznego pochodzącego od LED i ewentualnego ustalenia bezpiecznych warunków użytkowania dla tego rodzaju produktów.

W powyższej analizie świadomie pominięto kwestie dotyczące typowego dla źródeł światła zagadnienia ośnienia związanego z dużą luminancją ciała świecącego czy pulsacji światła związanej z zasilaniem napięciem niskiej częstotliwości uznając, że doświadczenia z użytkowania tradycyjnych lamp są wystarczające dla prawidłowego zastosowania i użytkowania LED.

## Pytanie 20. W jaki sposób są zasilane LED?

LED, z uwagi na swoje charakterystyki prądowo-napięciowe wymagają stosowania odpowiednich urządzeń regulacyjno-stabilizujących tzw. zasilaczy, których zadaniem jest transformacja napięcia przemiennego na napięcie stałe o określonej wartości np.: 12V, 24V lub 48V. Niektóre rozwiązania zasilaczy wyposażone są w układy sterowania umożliwiające ściemnianie lub zmianę barwy matrycy. Często urządzenie sterujące stanowi integralną część modułu LED.

Z punktu widzenia warunków zasilania LED rozróżnia się dwa podstawowe rodzaje tych urządzeń: ze stabilizacją prądu zwane „staoprądowe” i ze stabilizacją napięcia zwane „staonapięciowe”. Zaleca się stosowanie tych pierwszych wpływających korzystnie na wartość i stabilność strumienia świetlnego. Nowoczesne zasilacze powinny być wyposażone w układy kompensacji wpływu temperatury otoczenia oraz układy zapobiegające przegrzaniu zasilacza zbudowane w oparciu np. o termistory. W powszechnym zastosowaniu do zasilania LED stosowane są zasilacze. Przykładowy schemat blokowy zasilacza impulsowego przedstawiono na poniższym Rysunku 20.1.



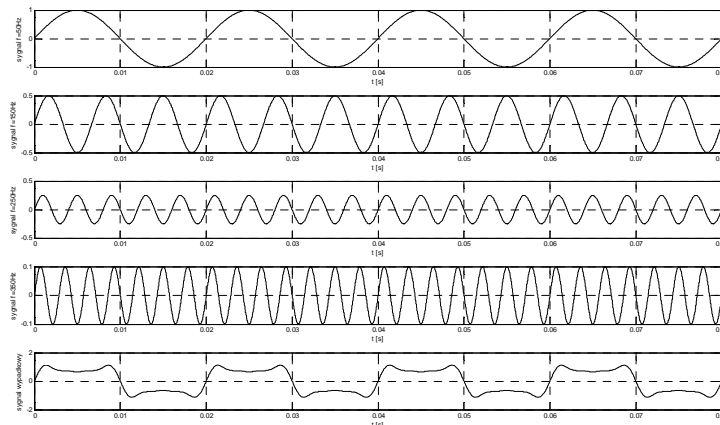
Rysunek 20. 1

Napięcie sieciowe o częstotliwości 50 Hz jest prostowane za pomocą mostka prostowniczego. Następnie napięcie wyprostowane jest impulsowane łącznikiem półprzewodnikowym sterowanym

generatorem PWM (ang. Pulse Width Modulation) częstotliwością rzędu kilkudziesięciu kiloherców. Transformator wysokiej częstotliwości ( $T_r$  w.c.) służy dopasowaniu wartości napięcia do wymaganej wartości, która następnie jest ponownie prostowana i wygładzana. Optoizolacja (Opt) służy do odseparowania galwanicznego układu sterowania i obwodu wyjściowego zasilacza. Filtr wejściowy ma za zadanie ograniczyć zaburzenia generowane do sieci przez zasilacz, głównie wyższe harmoniczne prądu. Bezpiecznik B zabezpiecza zasilacz przez skutkami zwarć i przeciążeń. Nowoczesne konstrukcje dobrej jakości zasilaczy impulsowych posiadają już praktycznie sinusoidalny kształt krzywej prądu wyjściowego.

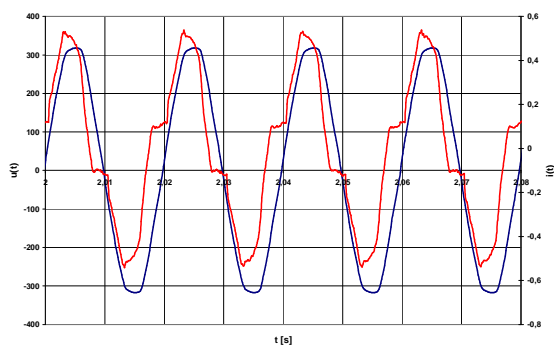
## Pytanie 21. Wzajemne oddziaływanie diod LED i systemów zasilania elektroenergetycznego.

Integralną częścią każdej oprawy LED zasilanej z sieci o napięciu 230V jest zasilacz, którego zadaniem jest zmiana napięcia przemiennego sieci elektroenergetycznej na napięcie stałe o wartości zwykle 12, 24 lub 48 V. Nowoczesne rozwiązania zasilaczy stosowane w oprawach LED oparte są na typowym rozwiązaniu zasilacza impulsowego. Podstawowymi zaletami takiego rozwiązania są mniejsze koszty, mniejsze wymiary oraz waga, jak również wyższa sprawność. Istotną wadą jest to, że zasilacz pobiera z sieci zamiast prądu ciągłego impulsy prądu o dużej zawartości wyższych harmonicznych. Każdy przebieg sygnału, który nie jest sinusoidalny można przedstawić w postaci sumy  $n$  sygnałów o częstotliwościach będących wielokrotnością częstotliwości podstawowej tego sygnału. W sieci zasilającej częstotliwość podstawowa jest równa 50Hz. Częstotliwość harmonicznej rzędu 3 wynosi 150Hz, zaś rzędu 5 wynosi 250Hz. Zatem harmoniczna rzędu  $n$  posiada częstotliwość  $n \cdot 50$ Hz. Na rysunku 21.1 przedstawiono przykład sygnału odkształconego złożonego z harmonicznej podstawowej o częstotliwości 50Hz oraz harmonicznych rzędów 3, 5 i 7.

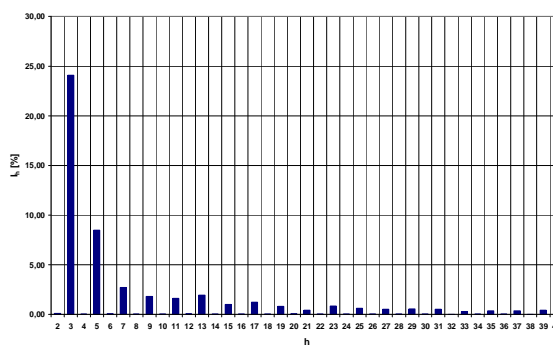


**Rys.21.1. Przykładowy przebieg sygnału odkształconego wraz z jego rozkładem na poszczególne harmoniczne.**

Najpoważniejszym problemem jest to, że prądy wyższych harmonicznych płynąc w sieci zasilającej powodują spadki napięć na elementach sieci co z kolei negatywnie wpływa na napięcie zasilające, z którego mogą być zasilane inne odbiorniki. Aby dokonać rzetelnej oceny wpływu danego odbiornika na sieć zasilającą konieczna jest znajomość spektrum harmonicznych prądu, która z kolei pozwala na obliczenie wartości współczynnika THD (ang. Total Harmonic Distortion), czyli całkowitego współczynnika odkształcenia. Przykładowy przebieg prądu wejściowego oprawy LED oraz jego spektrum wyższych harmonicznych przedstawiono na rysunkach 21.2 i 3. Wartość współczynnika THD prądu oprawy LED wynosi 26%.



**Rys.21.2. Przebieg chwilowy napięcia zasilającego i prądu przykładowej oprawy LED**



**Rys.21.3. Widmo harmonicznych prądu przykładowej oprawy LED**

Im mniejsza wartość współczynnika THD prądu tym oprawa w mniejszym stopniu negatywnie oddziałuje na sieć zasilającą. Negatywne oddziaływanie wyższych harmonicznych na sieć zasilającą to min.:

- przeciążenie przewodów i kabli elektroenergetycznych związane ze zwiększeniem się wartości prądu,
- przeciążenie przewodu neutralnego, powodowane przez sumowanie się harmonicznych 3 rzędu, których źródłami są odbiorniki jednofazowe,
- odkształcenia napięcia zasilającego, które są powodem nieprawidłowej pracy odbiorników wrażliwych,
- przeciążenia elementów sieci elektroenergetycznej np.: transformatorów, baterii kondensatorów itp.

Uwzględniając powyższe wymaga się, aby oprawy oświetleniowe z LED spełniały wymagania dla odbiorników zaliczanych do klasy C wg normy PN-EN 61000-3-2: 2007. Kompatybilność elektromagnetyczna (EMC), Część 3-2: Poziomy dopuszczalne – Poziomy dopuszczalne emisji harmonicznych prądu (fazowy prąd zasilający odbiornika  $\leq 16$  A). Zgodnie z zaleceniami podanej powyżej normy wartości dopuszczalne harmonicznych prądu wejściowego oprawy nie mogą być większe niż wartości podane w tabeli 21.4.

**Tabela 21.4. Poziomy dopuszczalne dla sprzętu klasy C według normy PN-EN 61000-3-2**

Rząd harmonicznej n	Maksymalny dopuszczalny prąd harmonicznej wyrażony w procentach składowej podstawowej prądu wejściowego [%]
2	2
3	$30 \cdot \lambda$
5	10
7	7
9	5
$11 \leq n \leq 39$ (tylko harmoniczne nieparzyste)	3

Współczynnik  $\lambda$  oznacza współczynnik mocy obwodu obliczany jako iloraz mocy czynnej urządzenia i iloczynu wartości skutecznych prądu i napięcia zasilającego.

Normy dotyczące LED można podzielić na dwie podstawowe grupy. Pierwsza obejmuje normy dotyczące wymagań ogólnych i bezpieczeństwa, których spełnienie pozwala na legalne wprowadzanie LED i modułów LED do obrotu. W przypadku modułów LED przystosowanych do zasilania napięciem powyżej 50 V spełnienie wymagań norm z tej grupy a także spełnienie wymagań norm dotyczących kompatybilności elektromagnetycznej, daje producentowi prawo oznakowania znakiem CE. W zasadzie można powiedzieć, że istnieje już komplet norm Polskich Norm będących tłumaczeniem norm europejskich.

Druga grupa norm dotyczy wymagań i sprawdzeń parametrów użytkowych LED, jak np. strumień świetlny, trwałość, barwa oddawanie barw itp. Brak jest Polskich Norm z tego obszaru. Normy międzynarodowe, głównie normy IEC, są w fazie projektów. Istnieją natomiast normy w poszczególnych krajach (w szczególności amerykańskie).

Poniżej zestawiono wykaz norm pierwszej grupy, norm bezpieczeństwa oraz projektów norm IEC drugiej grupy – normy parametrów funkcjonalnych LED.

### Grupa 1 Normy dotyczące wymagań ogólnych i bezpieczeństwa LED i modułów LED

Nr normy	Tytuł	Powiązanie z dyrektywami WE	Uwagi
PN-EN 62031:2010	Moduły LED do ogólnych celów oświetleniowych – Wymagania bezpieczeństwa	X	
Pr PN-EN 62560 FDIS	Lampy samo statecznikowe LED do ogólnych celów oświetleniowych( self balasted) na napięcie > 50 V – Wymagania bezpieczeństwa.	X	
IEC 62663-1 34A/1399/CD	Non-self-ballasted LED lamps - Part 1: Safety requirements	X	
PN-EN 60838-2-2: 2007	Różnorodne oprawki lampowe -- Część 2-2: Wymagania szczegółowe -- Złącza do modułów LED		
PN-EN 61347-2-13: 2008	Urządzenia do lamp -- Część 2-13: Wymagania szczegółowe dotyczące elektronicznych urządzeń sterujących zasilanych prądem stałym lub prądem przemiennym do modułów LED	X	

Niezależnie od powyższych norm szczegółowych, LED i moduły LED objęte są również wymaganiami norm ogólnych dotyczących lamp i sprzętu oświetleniowego, a w szczególności:

Nr normy	Tytuł	Powiązanie z dyrektywami WE	Uwagi
PN-EN 62471:2010	Bezpieczeństwo fotobiologiczne lamp i systemów lampowych	X	
IEC/TR 62471-2:2009	Bezpieczeństwo fotobiologiczne lamp i systemów lampowych –Część 2: Wytyczne dotyczące wymagań bezpieczeństwa promieniowania optycznego odnoszących się do produkcji układu nie laserowego	X	
PN-EN 61547:2009	<u>Sprzęt do ogólnych celów oświetleniowych -- Wymagania dotyczące kompatybilności elektromagnetycznej</u>	X	
CISPR 15:2008	Dopuszczalne poziomy i metody pomiarów zaburzeń radioelektrycznych wytwarzanych przez elektryczne urządzenia oświetleniowe i urządzenia podobne.	X	

Uwaga- Normy PN-EN są identyczne z normami europejskimi EN, które z kolei bazują na normach IEC i mogą zawierać wspólne modyfikacje europejskie.

### Grupa 2 Normy dotyczące wymagań funkcjonalnych LED i modułów LED



## Normy międzynarodowe IEC<sup>1)</sup>

Nr normy	Tytuł	Uwagi
IEC 62384	DC or AC supplied electronic control gear for LED module- Performance requirements	
IEC 62612 34A/1343/CD	Self-ballasted LED-lamps for general lighting services >50 V – Performance requirements	
IEC 62663-2 34A/1353/NP.	Non-ballasted single capped LED lamps for general lighting – Part 2 Performance requirements	
IEC/PAS 62617 34A_1444/PAS NP	LED modules for general lighting – Performance requirements	
IEC/PAS 62722-2-1 34D_995/PAS NP.	Luminaire performance – Part 2-1: Particular requirements for LED luminaires	
Nowy Projekt 34A_1430 NP.	LED — Binning — Part 1: General requirements and white grid- Standard Technical	
Nowy Projekt 34A/1403/DC	Self-ballasted LED-lamps for general lighting services with supply voltages < 50 V a.c. r.m.s. or < 120 V d.c. – Safety specification	

<sup>1)</sup> Aktualne informacje na temat opracowań projektów norm dotyczących sprzętu oświetleniowego można znaleźć na stronie [www.iec.ch](http://www.iec.ch) w zakładce Standards development/List of Technical Committees(TC/SC), a następnie wybierając odpowiednio SC 34A, SC 34B, SC 34C lub SC 34D.

## Normy amerykańskie

Nr normy	Tytuł	Uwagi
NEMA SSL 1-2010	Electronic Drivers for LED Devices, Arrays or Systems	
NEMA LSD-45	Sub-assembly interfaces for LED modules in luminaries	
IESNA LM-80	LED module lumen depreciation testing-specifics on test parameters	
IES LM-XX1	Methods for the measurements of high power LEDs In draft development	
IES LM-XX2 LED	Light Engine" measurement PIF for approval	
ANSLG working group	LED package size standardization in support of interconnects	
NEMA ANSI C78-09 WG	Standard for characterizing and testing thermal, electrical, and mechanical properties of interface/base	
Energy Star 5.0	ENERGY STAR Integral LED Lamps	

## Publikacje Międzynarodowej Komisji Oświetleniowej CIE


Nr publikacji	Tytuł	Uwagi
CIE 127:2007	Measurement of LEDs	

## Pytanie 23. Jak powinna wyglądać specyfikacja modułu LED?

Specyfikacja modułów LED, podobnie jak w przypadku innych wyrobów, powinna zawierać niezbędne informacje dla prawidłowego i bezpiecznego ich użytkowania oraz podawać deklarowane właściwości użytkowe. Dane i informacje objęte specyfikacją są zwykle zawarte na opakowaniu wyrobu lub odrębnej karcie katalogowej. Ostatnio coraz częściej specyfikacje umieszczane są także na stronach WWW producenta lub importera bądź dystrybutora.

a) Specyfikacja dla prawidłowego i bezpiecznego użytkowania modułów LED powinna zawierać informacje obejmujące co najmniej:

- Przeznaczenie modułu: do wbudowania (wymagające dla zapewnienia bezpieczeństwa wbudowania w oprawę oświetleniową lub inną dodatkową obudowę) lub do niezależnego stosowania. Te ostatnie mogą pracować poza oprawą oświetleniową, bez dodatkowej obudowy. Posiadają one wszystkie niezbędne zabezpieczenia stosownie do swojej klasyfikacji i oznakowania, które powinno być analogiczne do wymaganych oznaczeń dla opraw oświetleniowych. Moduły do wbudowania (moduły wbudowywane) powinny mieć odpowiednie oznakowanie w celu odróżnienia od modułów do niezależnego stosowania

(moduły niezależne). Oznakowanie to może mieć postać: ;

- Klasyfikację modułu z punktu widzenia wyposażenia w urządzenie zasilająco-sterujące: moduł samo statecznikowy (przewidziany do bezpośredniego zasilania z sieci elektrycznej, moduł częściowo-statecznikowy (wyposażony w urządzenie sterujące i przewidziany do przyłączenia do sieci zasilając poprzez zasilacz sieciowy) oraz moduł LED (nie samo statecznikowy, dla których kompletne urządzenie zasilająco sterujące stanowi odrębny wyrób);
- Znamionowe napięcie zasilające lub znamionowy prąd zasilający (lub ich zakresy), częstotliwość zasilania oraz jeżeli jest to istotne, rodzaj urządzenia sterującego z którym moduł powinien pracować;
- Znamionową moc wejściową lub zakres mocy;
- Schemat połączeń;
- Największą dopuszczalną temperaturę pracy. Najczęściej powinno to odnosić się do określonego miejsca na module. Wskazówki dotyczące odprowadzania ciepła.
- Klasyfikację modułu pod względem zagrożeń od wysyłanego promieniowania optycznego, zgodnie z IEC 62471;

b) Specyfikacja dla optymalnego projektowania oświetlenia z wykorzystaniem modułów LED powinna zawierać informacje dotyczące co najmniej:

- Znamionowego strumienia świetlnego (lm)
- Rozsyłu światłości
- Kąta rozwarcia wiązki (rozbieżność użyteczna)
- Skuteczności świetlnej
- Trwałości znamionowej i związanego z nią wskaźnika utrzymania strumienia świetlnego i wskaźnika uszkodzeń
- Współrzędnych trójchromatycznych oraz temperatury barwowej najbliższej
- Znamionowego wskaźnika oddawania barw Ra/RCI
- Temperatury  $t_{pmax}$  w określonym punkcie LED, przy której deklarowane są parametry funkcjonalne LED. Może występować więcej niż jedna wartość  $t_p$  z odpowiednio różnymi parametrami funkcjonalnymi LED.
- Przedziału zalecanych temperatur otoczenia
- Wymiarów oraz ich tolerancji
- Dostępności radiatorów dla odprowadzania ciepła, w przypadku LED bez radiatorów.

Szereg informacji wymienionych wyżej może być prezentowana w postaci kodów, przyjętych w stosownych normach dotyczących modułów LED. W szczególnych przypadkach, tam gdzie istotną rolę odgrywa jednorodność parametrów fotometrycznych i kolorymetrycznych LED światła białego stosowanych w dużych ilościach w modułach lub instalacjach, powinno żądać się od producenta określania tzw. Kodu bin dotyczącego tolerancji chromatyczności światła białego, rozszerzonego o parametry fotometryczne.

#### **Pytanie 24. Czy dostawca dysponuje danymi potwierdzającymi deklarowane wartości?**

Dowodami potwierdzającymi deklarowane parametry i właściwości użytkowe oraz bezpieczeństwa modułów LED powinni dysponować przede wszystkim ich producenci. W ostatnim czasie stosowne informacje o posiadanych dowodach np. certyfikatach lub wynikach badań, własnych bądź niezależnych laboratoriów, producenci zamieszczają na swoich stronach WWW. Solidni dostawcy, inni niż producenci, jak dystrybutorzy czy importerzy kupując wyroby od producentów w celu ich dalszej sprzedaży powinni domagać się od nich dowodów potwierdzających spełnianie deklarowanych parametrów.. W pierwszym rzędzie dotyczy to obszaru regulowanego prawnie, a więc cech bezpieczeństwa. W tym zakresie podstawowym dokumentem jest właściwie wypełniona deklaracja zgodności CE/WE przywołująca tzw. normy zharmonizowane PN-EN, zgodność z którą producent potwierdza bezpieczeństwo wyrobu. Istotne jest, aby poza numerem normy podana była data jej wydania. Odnośnie właściwości i parametrów użytkowych, jak: strumień świetlny, trwałość, wskaźnik oddawania barw itp. dostawca opiera swoje zaufanie na przedstawianych przez producenta dowodach najlepiej w postaci certyfikatów bądź sprawozdań z badań niezależnych (akredytowanych) laboratoriów dotyczących wyrobów lub systemów zarządzania np. według ISO 9001. Najlepiej, aby fakt posiadania właściwych certyfikatów był wyrażony w formie odpowiedniego oznakowania na wyrobie i/lub karcie katalogowej lub w katalogu producenta. Akceptowane są wyniki laboratoriów fabrycznych, szczególnie firm o ustalonej na rynku renomie. Należy jednak wyraźnie podkreślić, że nie ma zwyczaju, aby dostawca dostarczał te dowody każdemu indywidualnemu odbiorcy. Odbiorca powinien szukać danych na właściwych stronach www producenta i w wydawanej przez niego dokumentacji handlowo-technicznej.

#### **Pytanie 25. Jak dobrać LED jako zamiennik tradycyjnego źródła światła?**

Ze względu na szereg parametrów funkcjonalnych, technologia LED może być interesującą alternatywą w stosunku do systemów oświetlenia, opartych o tradycyjne technologie wytwarzania światła. Zamieniając żarówki, lub różnego rodzaju wyładowcze źródła światła, np. takie jak: świetlówki kompaktowe lub liniowe, źródła metalohalogenkowe, musimy pamiętać o poprawnym doborze określonych parametrów znamionowych zamiennika LED.

W warunkach domowych, warto zwrócić uwagę, aby ledówka będąca zwykle zamiennikiem żarówki, posiadała podobną do niej wartość emitowanego strumienia świetlnego. Kolejnymi parametrami, które powinny podlegać weryfikacji, są temperatura barwowa zbliżona do 3000K i wskaźnik oddawania barw  $R_a > 80$ .

Wartości strumienia świetlnego oraz temperatury barwowej można znaleźć na opakowaniu ledówki lub na stronach internetowych producenta. Obowiązek ich podawania wynika z Rozporządzenie Komisji (WE) Nr 244/2009 z dnia 18 marca 2009 r. w sprawie wykonania dyrektywy 2005/32/WE (zastąpionej dyrektywą 2009/125/WE) Parlamentu Europejskiego i Rady w odniesieniu do wymogów dotyczących ekoprojektu dla bezkierunkowych lamp do użytku domowego, wprowadzonego do stosowania we wszystkich krajach UE. Dla ułatwienia dokonania właściwego wyboru zamiennika, szereg producentów podaje równoważną, przybliżoną wartość mocy tradycyjnej żarówki, emitującą tą samą ilość strumienia świetlnego. W celu wyeliminowania nieuczciwej konkurencji, poprzez podawanie zawyżonych wartości równoważnej mocy żarówek, cytowane wyżej Rozporządzenie, wprowadziło ujednolicone wartości wiążące strumień świetlny z mocą żarówki – Patrz Tabela 25.1. Należy zwrócić uwagę na fakt, że według postanowień Rozporządzenia, strumień świetlny emitowany przez LED oceniany jest nieco gorzej niż

pochodzący od żarówek halogenowych czy świetlówek kompaktowych. Wynika to z charakterystyki widma promieniowania optycznego emitowanego przez produkty wykonane w technologii LED.

**Tabela 25.1. Deklarowana moc równoważnej żarówki wysyłającej ten sam strumień świetlny co ledówka ją zastępująca (źródło: Rozporządzenie 244/2009).**

Znamionowy strumień świetlny lampy ( $\Phi$ ), która ma zastąpić żarówkę [lm]			Deklarowana moc równoważnej żarówki
Świetlówka kompaktowa	Żarówka halogenowa	LED i inne lampy	[W]
125	119	136	15
229	217	249	25
432	410	470	40
741	702	806	60
970	920	1 055	75
1 398	1 326	1 521	100
2 253	2 137	2 452	150
3 172	3 009	3 452	200

Wartości pośrednie strumienia świetlnego i deklarowanej mocy równoważnej żarówki (w zaokrągleniu do 1 W) oblicza się w drodze interpolacji liniowej dwóch sąsiednich wartości.

Przykładowo kupując ledówkę, która według danych producenta, posiada strumień świetlny na poziomie 325lm, na podstawie powyższej tabeli możemy oszacować, że będzie ona świeciła jaśniej niż żarówka 25W, ale ciemniej niż żarówka 40W.

W przypadku oświetlenia profesjonalnego obiektów i przestrzeni publicznych, ze względu na obowiązujące wymagania normatywne, szukając właściwego zamiennika działającego w technologii LED, należy oprócz dopasowania w zakresie wyżej wymienionych parametrów, rozważyć także kwestie związane z realizowanym rozsyłem światłości i znaczna luminancją takiego źródła światła.

Profesjonalne oprawy oświetleniowe wyposażone są zwykle w mniej lub bardziej zaawansowane układy optyczne, które mają za zadanie odpowiednio kształtować rozsył światłości całej oprawy, tak aby była ona zdolna realizować normatywne wytyczne w zakresie oświetlania danej przestrzeni. Zamiennik LED musi prawidłowo współpracować z zastosowanym w oprawie rozwiązaniem optyki, czyli musi charakteryzować się podobnym, z pierwotnym źródłem światła, rozsyłem światłości.

Na drodze odpowiednich pomiarów należy sprawdzić również, czy zamienniki LED użyte w danym systemie oświetleniowym, nie powodują wzrostu generowanego olśnienia ponad wartości przewidziane w normach.

## O Związku Producentów Sprzętu Oświetleniowego „Pol-lighting”

Przystępując do Unii Europejskiej Polska zobowiązała się do reformowania systemu społeczno-gospodarczego w oparciu o stymulowanie przedsiębiorczości i innowacyjności, liberalizację rynków oraz realizację celów ekologicznych i społecznych. Tak określone zadania wymagają przeprowadzenia szeregu zmian w zakresie uregulowań prawnych oraz sposobu funkcjonowania rynku.

Wiodące firmy oświetleniowe, które zbudowały swój potencjał w oparciu o umiejętność adaptacji do ciągłych zmian, ugruntowały przekonanie, że przekształcanie rynku stanowi źródło postępu dla tych, którzy stawiają na innowacyjność i kreatywność. Przedsiębiorcy zaczęli zauważać konieczność podejmowania wspólnych działań, mających na celu dbałość o rozwój rynku i jego prawidłowe funkcjonowanie. Oczywista stała się potrzeba utworzenia wspólnej platformy umożliwiającej aktywne uczestnictwo w procesie przemian oraz merytoryczną dyskusję opartą na kompetencjach branżowych.

W 2006 roku utworzony został Związek Producentów Sprzętu Oświetleniowego „Pol-lighting”, którego założycielami są kluczowi producenci źródeł światła i oświetlenia profesjonalnego. Zadaniem Związku jest uczestniczenie w tworzeniu „dobrego prawa” i instrumentów rynkowych w zakresie branży oświetleniowej. Pol-lighting stawia sobie za cel szerzenie wiedzy o możliwości bilansowania korzyści dla konsumentów, społeczeństwa i środowiska naturalnego poprzez przechodzenie na zaawansowane technologie oświetleniowe. Rewolucyjny rozwój technologii oświetleniowych wymaga ciągłego dostarczania użytkownikom wiedzy pozwalającej na pełne korzystanie z nowych standardów i aplikacji oświetleniowych.

Pol-lighting jest członkiem europejskich organizacji producentów oświetlenia: CELMA, która zrzesza narodowe organizacje producentów opraw oświetleniowych oraz European Lighting Companies Federation (ELC), federacji producentów źródeł światła.



---

### Adres do korespondencji:

Związek Producentów Sprzętu Oświetleniowego „Pol-lighting” ul. Stępińska 22/30, 00-730 Warszawa,  
Tel/fax.22 845 65 18, [www.pollighting.pl](http://www.pollighting.pl)

## **Organizator:**

Corocznej Krajowej Konferencji Oświetleniowej „Technika Świetlna”  
XII Europejskiej Konferencji Oświetleniowej LUX-Europa – czerwiec 2013r.

## **Współorganizator:**

Organizowanej co dwa lata Międzynarodowej Konferencji Oświetleniowej Krajów Grupy Wyszehradzkiej  
Organizowanego przemiennie co dwa lata Krajowego Sympozjum Kolorymetrycznego

## **Prowadzący kursy:**

Podstaw oświetlenia, projektowania zgodnie z normami PN/EN i innych na zamówienie

## **Twórca Systemu:**

Potwierdzenia Kwalifikacji Zawodowej Osób” oraz „Jakości Wyrobów i Usług”, w tym:  
potwierdzania kwalifikacji specjalisty i eksperta PKOśw (m.in. w zakresie projektowania oświetlenia i fotometrii),  
potwierdzenia jakości usług z zakresu techniki świetlnej.  
potwierdzenia jakości wyrobów oświetleniowych (w trakcie wdrażania)

---

## **Adres do korespondencji:**

Zakład Techniki Świetlnej Politechniki Warszawskiej ul. Koszykowa 75/514, 00-661 Warszawa,  
telefon +48 22 234-56-15, fax. +48 22 234 56 16, [www.ee.pw.edu.pl/CIEPoland](http://www.ee.pw.edu.pl/CIEPoland)